



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **229 508 A1**

4(51) G 02 B 21/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 02 B / 270 150 2	(22)	03.12.84	(44)	06.11.85
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	VEB Carl Zeiss JENA, 6900 Jena, Carl-Zeiss-Straße 1, DD
(72)	Schöppe, Günter; Unterreitmeier, Detlef, Dipl.-Phys., DD

(54) Vorrichtung zur automatischen Gangunterschiedsmessung in Interferometern

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur automatischen Gangunterschiedsmessung in Interferenzmikroskopen. Diese dient der schnellen Erfassung der zeitlichen Änderung des Interferenzzustandes interferometrisch zu untersuchender Objekte in der Medizin, Biologie u. a. Ziel der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zu schaffen, die gegenüber bekannten Einrichtungen einfach aufgebaut ist und mit geringem gerätetechnischen Aufwand eine schnelle und genaue Erfassung von Gangunterschiedsänderungen gewährleistet. Die Aufgabe besteht darin, die Vorrichtung so zu gestalten, daß mit einem Minimum an Zwischengrößen und Einflußfaktoren die Gangunterschiedsänderungen eines Gangunterschiedsmodulators zuverlässig erfaßt und in dazu proportionale digitale Größen transformiert werden. Das wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der in einem Interferenzstrahlengang angeordnete Gangunterschiedsmodulator außerhalb des Interferenzstrahlenganges in seiner Schwingungsrichtung eine periodische Maßstabsverkörperung trägt, deren Teilungsperiode in einem konstanten Verhältnis zur Gangunterschiedsänderung steht. Diese Maßstabsverkörperung wird mit geeigneten Mitteln abgetastet. Fig. 1

Titel

Vorrichtung zur automatischen Gangunterschiedsmessung in Interferometern

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur automatischen Messung von Gangunterschieden in Interferometern, insbesondere Interferenzmikroskopen. Sie wird zur schnellen Erfassung der zeitlichen Änderung des Interferenzzustandes, hervorgerufen durch zeitliche Änderungen der optischen Eigenschaften interferometrisch zu untersuchender Objekte oder in Verbindung mit einer systematischen Objektverschiebung zur Ermittlung örtlicher Unterschiede der optischen Eigenschaften derartiger Objekte, eingesetzt. Angewendet werden diese Untersuchungen in der Medizin, Biologie, Chemie, Halbleitertechnik u.a..

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es ist eine Einrichtung und ein Verfahren zur automatischen Messung von Gangunterschieden in einem Interferenzmikroskop bekannt, bei dem der Gangunterschied im Phasenschieber elektromechanisch nach einer Sinusfunktion moduliert und mit einem Phasenanalysator die Unlinearität der Modulationsfunktion eliminiert wird. Die einwandfreie Funktion dieses Verfahrens ist an die Voraussetzung geknüpft, daß die Antriebsfunktion oberwellenfrei ist, die Bewegungsfunktion ein getreues Abbild der Antriebsfunktion darstellt und die Phasenanalyse genügend stabil und feinfühlig arbeitet, um hohe Gangunter-

schiedsaufösungen und Reproduzierbarkeiten zu sichern. Der technische Aufwand zur Erfüllung dieser Forderungen ist relativ hoch und stellt auch besondere Anforderungen an die zeitliche Konstanz der Einrichtung.

In dem DD-WP 149968 ist eine Einrichtung beschrieben, in der die Erfassung des Gangunterschiedes dadurch ermöglicht wird, daß die Bewegungsfunktion des Phasenschiebers zeitlich linearisiert ist. Die Erfüllung der Bedingung, daß der Gangunterschied zur Zeit in einem konstanten Verhältnis steht, erfordert einen erheblichen regelungstechnischen Aufwand.

In der Inaugural-Dissertation von J. Pörtlner "Aufbau und Betrieb eines Scanning-Interferenzmikroskopes", Pathologisches Institut Gießen, 1964 ist eine Einrichtung beschrieben, deren Anwendung nur auf mit polarisiertem Licht arbeitende Interferenzmikroskope beschränkt ist. Dabei wird die Gangunterschiedsvariation durch Rotation eines Polars erzeugt und ist proportional zum Drehwinkel. Diese Einrichtung erlaubt nur eine begrenzte Arbeitsgeschwindigkeit, da sie mit einem Regelkreis mit integraler Charakteristik arbeitet. Zudem können mit dieser Einrichtung nur isotrope Objekte untersucht werden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die genannten Nachteile zu vermeiden. Es soll eine Vorrichtung geschaffen werden, die gegenüber den bekannten Einrichtungen einfach aufgebaut ist und mit geringem geräte-technischen Aufwand eine schnelle und genaue Erfassung von Gangunterschiedsänderungen gewährleistet.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient der automatischen Messung von Gangunterschieden an Interferenzobjekten, insbesondere in Interferenzmikroskopen mit einem periodisch schwingenden Gangunterschiedsmodulator und einer Erfassungslogik mit einem Komparator, an dessen Eingängen je ein der aktuellen und der mittleren Lichtintensität proportionales elektrisches Signal anliegt. Aufgabe der Erfindung ist es, die Vorrichtung so zu gestalten, daß unabhängig von polari-

siertem Licht mit einem Minimum an Zwischengrößen und unter Ausschaltung störender Einflußfaktoren (Lichtschwankungen, Schwankungen der Empfindlichkeit des opto-elektronischen Wandlers) die Gangunterschiedsänderungen eines Gangunterschiedsmodulators zuverlässig erfaßt und in dazu proportionale digitale Größen transformiert werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Gangunterschiedsmodulator in seiner Schwingungsrichtung außerhalb des Interferenzstrahlenganges eine periodische Maßstabsverkörperung trägt, deren Teilungsperiode in einem konstanten Verhältnis zur Gangunterschiedsänderung steht. Es sind Mittel vorgesehen, die Zahl der Teilungsperioden, um die der Gangunterschiedsmodulator von einem vorgegebenen Zeitpunkt seiner Schwingungsperiode bis zum Umschalten des Komparators in einer vorgegebenen Richtung verschoben wurde, zu zählen, zu speichern und/oder anzuzeigen bzw. weiterzuverarbeiten. Weiterhin ist am Gangunterschiedsmodulator eine Anfangsmarke vorhanden, deren Lage in einer Ausgangsstellung von einem Positionserfassungssystem signalisiert wird.

Vorteilhaft ist die Maßstabsverkörperung als optisches Gitter auszuführen, das in an sich bekannter Weise durch eine Lichtquelle beleuchtet und mittels eines Hilfsobjektives durch ein Referenzgitter auf Fotodioden zur Erfassung seiner Relativlage abgebildet wird.

Eine ebenso vorteilhafte Erfassung der Relativlage des Gangunterschiedsmodulators ist möglich, wenn die Maßstabsverkörperung als periodisch geteilte Kondensatorplatte ausgebildet ist. Die periodisch geteilte zweite Kondensatorplatte wird fest in der Vorrichtung gegenüber der ersten Kondensatorplatte angeordnet. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn als Periode der Maßstabsverkörperung die Wellenlänge einer monochromatischen Lichtstrahlung genutzt wird.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: ein modifiziertes Mach-Zehnder-Interferometer mit einem piezoelektrisch betriebenen Phasenschieber und einer erfin-

dungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2: das Blockschaltbild der zur Erfassung des wirkenden Gangunterschiedes in der Interferometeranordnung erforderlichen Elektronik.

In Fig. 1 durchläuft ein mikroskopischer Abbildungsstrahlengang 1 ein Mach-Zehnder-Interferometer 2 und fällt durch eine Meßblende 3 auf einen opto-elektronischen Wandler 4. In einem Teilstrahlengang des Interferometers 2 ist ein Kompensationskeil 5 und im zweiten Teilstrahlengang ein Gangunterschiedsmodulator 6 angeordnet. Der Gangunterschiedsmodulator 6 wird durch einen piezoelektrischen Biegeschwinger 7 mit einer Blattfeder 8 als zweites Führungselement in periodische Schwingungen versetzt, an deren zeitlichen Ablauf lediglich die Forderung gestellt werden muß, daß er eine stetige Funktion ist. Eine Forderung an zeitliche Konstanz braucht nicht gestellt zu werden. Bezüglich der Amplitude der Schwingung muß gesichert sein, daß der Gangunterschiedsmodulator 6 eine Gangunterschiedsänderung von etwas mehr als einer Wellenlänge des Lichtes, mit dem das Interferometer arbeitet, hervorruft.

Der Gangunterschiedsmodulator 6 ist ein Glaskeil, der so gestaltet sein kann, daß bei einem Hub von $1\text{ }\mu\text{m}$ eine Gangunterschiedsänderung von 1 nm erzeugt wird. Die Auswertelogik erfordert, daß der Gangunterschied um etwas mehr als eine Wellenlänge moduliert wird, so daß für die Praxis ein Hub des Gangunterschiedsmodulators 6 von ca. $0,6\text{ mm}$ ausreichend ist.

In Bewegungsrichtung, versetzt neben dem Interferometerstrahlengang, befindet sich eine Gitterteilung 9, die aus einer Folge gleich breiter transparenter und undurchlässiger Striche senkrecht zur Bewegungsrichtung bestehen kann. Für die Praxis ist eine Strich- und Lückenbreite von $4\text{ }\mu\text{m}$ vorteilhaft. Eine Lumineszenzdiode 10 beleuchtet über einen Kollektor 11 das Gitter 9. Mit einem Hilfsobjektiv 12 wird die Gitterstruktur auf ein in vier Quadranten unterteiltes Referenzgitter 13 abgebildet. Die Strukturen der Quadranten sind in bekannter Weise um jeweils $1/4$ Gitterkonstante gegeneinander verschoben. Die durch die Quadranten des Referenzgitters 13 tretenden Lichtströme werden von vier Fotodioden 14 erfaßt und die dazu analogen elektrischen Ströme einer Zählerlogik 18

(Fig. 2) zugeführt. Diese ermittelt den Richtungssinn der Bewegung und erfaßt verachtfacht in Form von Impulsen die Zahl der an einem Referenzgitterquadranten vorüberlaufenden Gitterstriche. Diese Impulse, von denen jeder eine Änderung des Interferenzzustandes des Interferometers um 1 nm darstellt, werden je nach Bewegungsrichtung des Gangunterschiedsmodulators 6 zu einer Vorwärts- oder Rückwärts-Zählung eines Zählers 19 (Fig. 2) geleitet.

Unterhalb des Gitters 9 ist eine Startmarke 15 angebracht, die in der Ausgangsstellung von dem Hilfsobjektiv 12 durch eine Blende 16 hindurch auf einen Empfänger 17 abgebildet wird.

In Fig. 2 ist ein Blockschaltbild der zur Erfassung der Gangunterschiedsänderungen im Interferometer 2 erforderlichen Elektronik dargestellt. Die zur Erläuterung erforderlichen Bauelemente der Vorrichtung nach Fig. 1 sind mit gleichen Bezugszeichen versehen vereinfacht eingezeichnet.

Zur Erfassung einer Gangunterschiedsänderung ergibt sich folgendes Zusammenwirken der Bauelemente:

Ein Sinusgenerator 20 liefert eine Spannung, die den Gangunterschiedsmodulator 6 in Bewegung versetzt. Ein Trigger 21 erhält, ausgelöst durch die Abbildung der Startmarke 15 auf den Empfänger 17, von diesem eine Spannung, so daß er in einer damit fest vorgegebenen Position des Gangunterschiedsmodulators 6 kurzzeitig in den Zustand "H" schaltet. Beim Schalten von "L" auf "H" wird der Zähler 19 in den Zustand "0" gesetzt. Gleichzeitig schaltet das RS-Flipflop 22 auf "H" und gibt den Zähler 19 frei, so daß von diesem Modulationspunkt die Zahl der von der Zählerlogik 18 eintreffenden Impulse vorzeichenabhängig erfaßt wird. Eine Verbindung der Zählerlogik 18 mit dem Trigger 21 verhindert, daß ein von der Startmarke 15 bei der Rückwärtsbewegung des Gangunterschiedsmodulators 6 ausgelöstes Signal den Trigger 21 erneut umschaltet.

Der durch das Interferometer 2 modulierte Lichtstrom, der durch die Meßblende 3 tritt, wird von dem opto-elektronischen Wandler 4 (SEV, Fotodiode o.ä.) in ein elektrisches Signal umgewandelt und durch einen Verstärker 23 definiert verstärkt. An einem Maximalwertspeicher 24 wird um denselben Faktor verstärkt der maximale Wert der Fotospannung gespeichert, an einem Minimalwertspeicher 25 der minimale Wert der Fotospannung. Aus beiden genannten Werten wird an

einem Komparator 26 ein Mittelwert gebildet. Dieser der mittleren Lichtintensität proportionale Spannungswert gestattet es, Einflüsse von Lichtintensitätsschwankungen durch die Lichtquelle des Interferometers oder schwankende Transmissionsverhältnisse des Objektes bei der Gangunterschiedsmessung zu eliminieren. Der so erzielte Spannungsmittelwert repräsentiert die mittlere Lichtintensität und wird am Komparator 26 mit der vom Verstärker 23 kommenden aktuellen Spannung verglichen. Immer dann, wenn der aktuelle Spannungswert kleiner als der Mittelwert wird, schaltet der Komparator 26 in den Zustand "L", das RS-Flipflop 22 wird zurückgesetzt und damit die Zählung der von der Zählerlogik 18 abgegebenen Impulse unterbrochen. Die Zahl der so von dem Zähler 19 ermittelten Impulse verkörpert den Gangunterschied, um den das Interferometer, ausgehend vom Startpunkt, verstellt werden mußte, um die Gleichheit zwischen aktueller und mittlerer Lichtintensität zu erzielen, d.h. einen vorgegebenen Interferenzzustand zu erreichen. Diese Verstellung ist abhängig von dem Gangunterschied des Objektes, der somit gemessen werden kann.

Die im Zähler 19 erfaßten Impulse werden in einem Zwischenspeicher 27 gespeichert, durch eine Anzeigeeinheit 28 digital angezeigt und können in gebräuchlicher Weise weiterverarbeitet werden. Die erfindungsgemäße Einrichtung zeichnet sich dadurch aus, daß die Funktion in weiten Grenzen unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit, nahezu völlig unabhängig von dem zeitlichen Bewegungsablauf des Gangunterschiedsmodulators ist und daß die bewegten Massen im Interferometer gering sind.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist die Messung eines Gangunterschiedes bis zu einer Wellenlänge möglich. Durch Anwendung zweier auf verschiedene Wellenlängen reagierender Empfänger und entsprechende Erweiterung der Logik ist dieses Verfahren auch auf die Messung von Gangunterschieden größer als eine Wellenlänge möglich.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur automatischen Messung von Gangunterschieden an Interferenzobjekten, insbesondere in Interferenzmikroskopen mit einem periodisch schwingenden Gangunterschiedsmodulator und einer Erfassungslogik mit einem Komparator, an dessen Eingängen je ein der aktuellen und der mittleren Lichtintensität proportionales elektrisches Signal anliegt, gekennzeichnet dadurch, daß der in einem Interferenzstrahlengang angeordnete Gangunterschiedsmodulator außerhalb des Interferenzstrahlenganges in seiner Schwingungsrichtung eine periodische Maßstabsverkörperung trägt, deren Teilungsperiode in einem konstanten Verhältnis zur Gangunterschiedsänderung steht und daß Mittel vorgesehen sind, die Zahl der Teilungsperioden, um die der Gangunterschiedsmodulator von einem vorgegebenen Zeitpunkt seiner Schwingungsperiode bis zum Umschalten des Komparators in einer vorgegebenen Richtung verschoben wurde, zu zählen, zu speichern und/oder anzuzeigen, und daß weiterhin auf dem Gangunterschiedsmodulator eine der Maßstabsverkörperung zugeordnete Anfangsmarke angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Maßstabsverkörperung ein optisches Gitter ist, das in an sich bekannter Weise durch eine Lichtquelle beleuchtet und mittels eines Hilfsobjektives durch ein Referenzgitter auf Fotodioden abgebildet wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Maßstabsverkörperung eine periodisch geteilte Kondensatorplatte ist, gegenüber der eine entsprechend periodisch geteilte zweite Kondensatorplatte fest in der Vorrichtung angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß als Periode der Maßstabsverkörperung die Wellenlänge einer monochromatischen Lichtstrahlung verwendet wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen.

